

华北平原中尺度对流复合体发生的环境和条件*

吕艳彬¹⁾ 郑永光²⁾ 李亚萍²⁾ 陶祖钰²⁾

¹⁾ (民航天津空中交通管理站,天津 300300)

²⁾ (北京大学地球物理系暴雨监测和预测国家重点实验室,北京 100871)

提 要

中尺度对流复合体(MCC)会给华北平原带来暴雨灾害。在对 MCC 普查的基础上,选取发生在华北平原上的 3 个典型个例合成出代表 MCC 发生前的环境场,并通过诊断分析考察了华北平原发生 MCC 的条件。结果表明,华北平原发生 MCC 的环境既不同于我国南方的 MCC,也不同于北美。对于具有明显夜发性的 MCC,所得到的 MCC 发生环境和条件,对预报当天傍晚华北平原是否有 MCC 发生有一定的参考价值。

关键词:中尺度对流复合体(MCC) 合成 发生条件

引 言

中尺度对流复合体(MCC)是一种特定的中- α 尺度(200~2000 km)对流系统,是造成我国夏季暴雨和洪涝灾害的主要天气系统之一。自从 Maddox(1980)^[1]关于 MCC 的开创性论文以后,许多学者对全球各地的 MCC 进行了大量研究。早在 1985 年,方宗义就指出中国长江流域梅雨期的暴雨就是由 MCC 造成的(Fang^[2]),并从多个个例分析总结出发生 MCC 的大尺度环流背景的概念模型,即 MCC 发生在西南季风北端、准静止的东西向切变线或锋面的西端和 500 hPa 西风带槽线南端这三者的交汇处。其后,李玉兰等^[3]和项续康等^[4]又进一步对我国 MCC 发生最多的西南和华南地区的 MCC 发生环境进行了研究,得到了和文献[2]相类似的结论。但这些研究结果都是建立在个例分析的基础上。为了弥补个例分析的不足,最近郑永光等对黄海地区 MCC 的发生环境进行了合成分析^[5],但由于他们是对一段长达数天的 MCC 活跃期中每天两次的高空环流进行合成,因此不能完全代表 MCC 发生前的环境。

我国北方地区 MCC 的发生频率比南方要少得多^[6],对北方 MCC 的研究也比较少,但一些重大的暴雨洪涝灾害也和 MCC 的活动有关。例如 1996 年 8 月上旬华北平原出现的历史上罕见的洪涝灾害就是由 MCC 造成的,它所带来的经济损失仅河北一省就高达 456.3 亿元。因此,研究北方 MCC 的发生环境和条件也是十分必要的。石定朴等^[7]曾经给出过一次华北地区 MCC 个例的环境场,但未进行普查。本文的目的是试图在对华北平原 MCC 进行普查的基础上,用合成方法给出 MCC 发生前的环境场并诊断其发生的热

* 本文由国家自然科学基金项目 49735180 和高等学校重点实验室访问学者基金资助。
2001-01-12 收到,2001-03-13 收到修改稿。

力学和动力学条件,为华北平原 MCC 的预报提供参考依据。

1 选例和方法

针对华北平原,在对 1992~1996 年夏季的 GMS 卫星红外云图普查中共找出了 6 个典型的 MCC 个例。表 1 给出这 6 个 MCC 发生的日期、生命史、最强盛时刻及其对应的 $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷云顶面积、偏心率。为使合成的结果对华北平原 MCC 的预报有直接的参考价值,因此所选的 6 个个例的位置基本相同,都在华北平原上空。图 1 给出了它们成熟期的卫星红外云图合成后的平均 TBB 等值线分布。由于所选个例的位置非常接近,因此它们平均后的 $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $-52\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的冷云盖,无论是形状和面积,与典型的 MCC 冷云盖仍非常相似。



图 1 合成的卫星红外云图的平均 TBB 分布(单位: $^{\circ}\text{C}$)

由表 1 可看出,这 6 个 MCC 的发生时间在 09:00~13:00(UTC,下同)之间,因此每个个例当天的 00:00 常规观测资料代表了 MCC 生成前约 10 h 的大尺度环境场,可以将它们的合成作为 MCC 发生前的环境。由于 MCC 具有明显的夜发性,选取时次 00:00 进行合成也是适当的。从预报角度考虑,它能为在上午的云图上还看不到 MCC 时,对预报当天傍晚前后是否有 MCC 产生提供参考。但是,个例 2 和 3 及个例 4 和 5 是连续发生的,个例 2 和 4 的消失时间在 00:00 或 23:00,与个例 3 和 5 所应取的合成时次非常接近。已有的研究表明^[8],当卫星云图上的 MCC 已减弱到不再满足规定的标准后,其中尺度环流还将维持一段时间,因此个例 3 和 5 当天 00:00 的环流不能代表 MCC 发生前的环境。另外,个例 6 的前一天华北平原也有一个中- α 尺度对流系统(MaCS)发生,虽然它没有达到 MCC 的标准,因此在合成时也不能使用个例 6 当天 00:00 的资料。为避免前一天 MaCS 对大尺度环境场的影响,我们在 6 个个例中只选取在其发生的前一日华北平原没有 MaCS 活动的个例,即用个例 1, 2, 4

表 1 MCC 个例概况

编号	日期	MCC 生命史	MCC 最强盛时刻	偏心率	$-32\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷云顶面积 (km^2)
1	1992-07-23	10:00~21:00	12:00	0.7	33.6
2	1996-07-23	13:00~24:00	15:00	1.0	45.3
3	1996-07-24	11:00~18:00	12:00	0.7	39.9
4	1996-07-29	11:00~23:00	12:00	0.7	27.2
5	1996-07-30	09:00~17:00	11:00	0.9	34.1
6	1996-08-04	09:00~17:00	11:00	0.7	32.7

当天 00:00 的资料来合成 MCC 发生前的环境。

具体的合成方法是,首先将每个个例当天 00:00 的常规地面和高空观测资料分别进行合成,即先将原始报文进行整理,将整理后的报文资料按测站进行平均,然后对平均后的测站资料进行客观分析和物理量诊断计算。先平均,后分析计算的优点是可以平均后的测站资料填绘出与日常天气分析相似的合成天气图。客观分析中采用了最优插值法,分析范围以 $117^{\circ}\text{E}, 40^{\circ}\text{N}$ 为中心,采用正方形格距,网格距为 60 km ,网格范围为 71×61 ,其中高空的物理量诊断采用的网格范围为 41×31 。

2 MCC 发生前的环流背景

从合成的地面天气图(图 2)可见,蒙古地区有一个较弱的冷高压,中心气压为 1009 hPa 。高压前沿的气压梯度不连续带表明,从内蒙古东部到河套西北部有一条东北—西南走向的冷锋。因此,华北平原的 MCC 不像我国南方的 MCC 发生在东西走向的准静止锋的西端,而是位于冷锋前的暖区中。位于我国东部海上的西太平洋副热带高压势力较强大,中心值为 1012 hPa 。华北平原位于副热带高压西北侧边缘暖湿的偏南气流控制下。地面的温、湿场(图略)的分布表明,在副热带高压的外围有一暖脊和湿舌向东北伸展。在河北东部有一对暖、湿中心,其中暖中心的温度值为 28°C ,湿中心的比湿值高达 22 g/kg ,说明低层具有非常有利的热力条件,使傍晚前后 MCC 在华北平原发生发展。

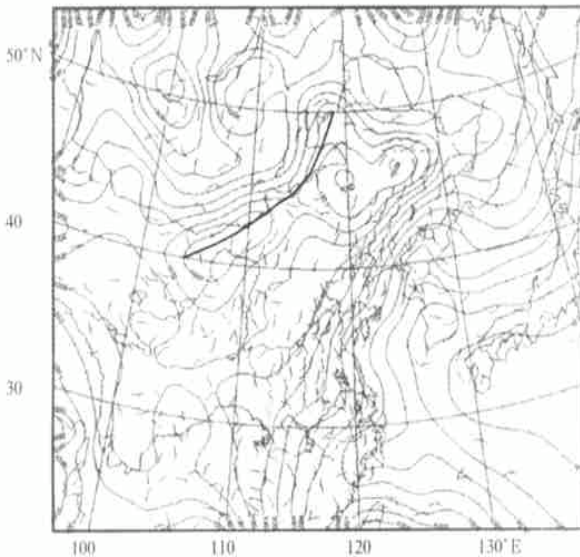


图 2 MCC 生成前合成的海平面气压场、测站风
(单位: hPa, 等值线间隔 1, 粗线表示地面冷锋)

200 hPa 合成的环流形势(图 3a)表明,在对流层上部,蒙古和我国西北部上空为宽广而平直的高空西风气流,急流轴线位于 40°N 附近。急流轴上有两个急流中心,最大的风速中心(39 m/s)位于河西走廊的中部($39^{\circ}\text{N}, 93^{\circ}\text{E}$),次风速中心(28 m/s)位于内蒙古中

部, MCC 就发生在急流次中心出口区的右侧。国内不少研究表明^[5,9], 我国的暴雨有不少发生在高空急流的出口区右侧, 此处刚好是南亚高压东北侧的脊, 两者配合构成了高空的发散气流, 有利于其下方产生暴雨。南亚高压的脊线沿 30°N 从西向东伸到长江下游。华北平原处在偏西北气流之下, 其东北部渤海湾附近处于东西向的南亚高压脊线北侧的西北气流和平直的副热带西风急流之间的分流处。

对流层中层 500 hPa(图略)在 40°N 附近仍为纬向环流, 副高势力较强大, 588 dagpm 线最西端伸至 110°E , 最北端达到 36°N 以北, 华北平原位于 588 dagpm 线外围的西北侧。河套西部有一弱的短波槽在近于纬向的气流中向东移动, MCC 的产生可能与它有关。Maddox(1983)^[9]在对 10 个 MCC 个例的合成中也提到了 500 hPa 的短波槽。

对流层下部的环流与上部明显不同。从图 3(b) 所给出的 850 hPa 合成流场可见, 低空的环流有明显的经向特征。在副热带高压的外围有一支强的偏南风低空急流从华南向北延伸到华北; 在河套西部则有一清楚的短波槽。华北平原位于黄河下游低空急流的左侧。

由上文所给出的地面、850 hPa、500 hPa(图略)和 200 hPa 的合成图上还可以看到, 在 MCC 发生前, 华北平原上空的风向随高度顺时针偏转, 从地面的南风 and 东南偏南风到 850 hPa 的西南偏南风、500 hPa 的西南偏西风和 200 hPa 的西北偏西风; 但风速随高度变化很小, 在 $4\sim 14\text{ m/s}$ 之间。MCC 发生区域风的垂直结构与 Maddox 的得到结论一致。

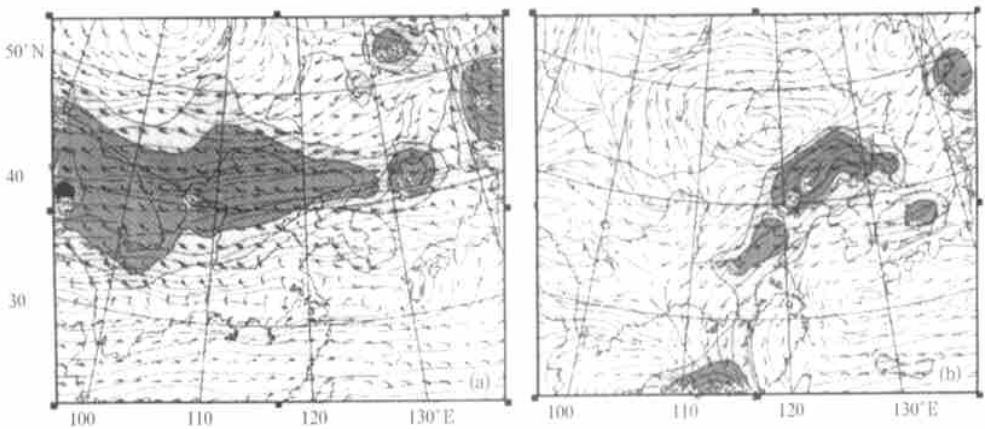


图 3 MCC 生成前合成的高低空流场、等风速线

(a) 200 hPa (等值线间隔 5, 阴影区风速 $> 15\text{ m/s}$) (b) 850 hPa (等值线间隔 2, 阴影区风速 $> 8\text{ m/s}$)

(点线为流线, 细实线为等风速线, 单位: m/s)

另外值得指出的是, 华北平原 MCC 发生前高空的合成流场形势与 Maddox(1983)^[10]得到的结果不完全一致。Maddox 指出北美的 MCC 通常发生在对流层上部的大尺度长波脊中, 高空急流呈现显著的反气旋式弯曲, 而华北平原的 MCC 在其生成前对流层上部并无明显的大尺度长波脊, 高空急流很平直, 甚至略有气旋式弯曲。这很可能是由于 Maddox 在合成中所用的资料 MCC 已开始形成, 而本文所用资料在 MCC 初始形成前约 10 h。我们在对 MCC 成熟期环流的合成分析中发现(将另文发表), 成熟期的对流层上部

存在大尺度长波脊,高空急流呈反气旋式弯曲。它表明,对流层上部的大尺度长波脊是 MCC 发展过程中形成的,它反映了在 MCC 发展过程中中尺度对流系统对大尺度环流的影响,它不一定能代表 MCC 发生前的环流背景。

3 MCC 发生的物理条件

作为一种对流系统,不稳定的大气层结是 MCC 发生的必要条件。对流稳定度(图 4a)的分析表明,黄河中下游的广大地区 500 hPa 的相当位温都小于 850 hPa,处在大范围的对流不稳定环境中。最大的不稳定中心位于华北平原中部(山西-河北两省交界处),在西南气流的输送下,即将到达华北平原东北部。这与郑永光等^[5]对黄海及其周边地区 MCC 活跃期环境场的合成得到的结论基本一致。

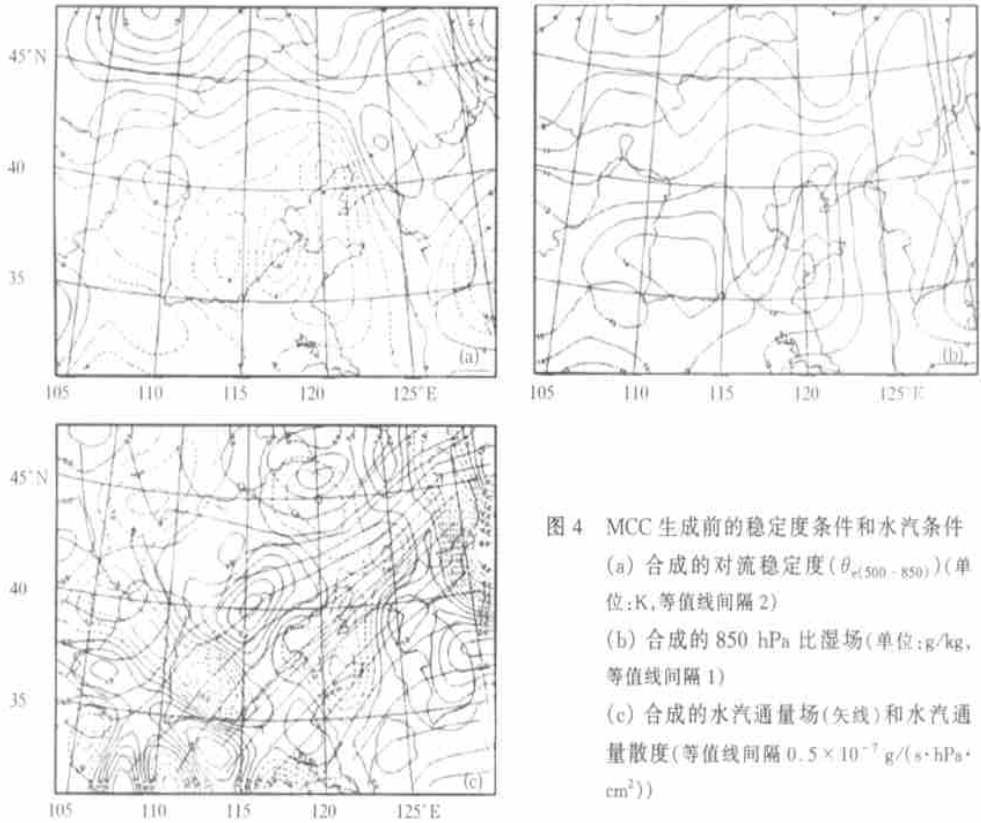


图 4 MCC 生成前的稳定度条件和水汽条件
(a) 合成的对流稳定度($\theta_{e(500-850)}$)(单位:K,等值线间隔 2)
(b) 合成的 850 hPa 比湿场(单位:g/kg,等值线间隔 1)
(c) 合成的水汽通量场(矢线)和水汽通量散度(等值线间隔 $0.5 \times 10^{-7} \text{ g}/(\text{s} \cdot \text{hPa} \cdot \text{cm}^2)$)

与一般的对流系统不同的是, MCC 作为一种尺度较大的对流系统,需要有足够充足的水汽输送。在合成的 850 hPa 比湿场(图 4b)和水汽通量场(图 4c)中可以看到,黄河中游的比湿高达 $14 \text{ g}/\text{kg}$ 以上,它正在西南气流的控制下向华北平原输送,其中的水汽通量辐合中心已到达华北平原的南部。

为了考察触发 MCC 的上升运动,图 5 给出了 MCC 发生前的 850 和 200 hPa 合成散度场。图 5 显示,在 MCC 发生前的上午,黄河中游有一对低空辐合-高空辐散中心,它为傍晚前后华北平原上 MCC 的发生和发展提供了必要的上升运动。动力学诊断进一步表

明,触发午后 MCC 发展的上升运动与高空的涡度平流有关。在图 5(c) 的 300 hPa 合成涡度平流场中我们可以看到,河套地区有一片正涡度平流区,在西北气流的控制下向华北平原移动。

总之,上述结果表明,在 MCC 发生前的上午,各种诊断场可以揭示出傍晚前 MCC 将在华北平原产生的条件。

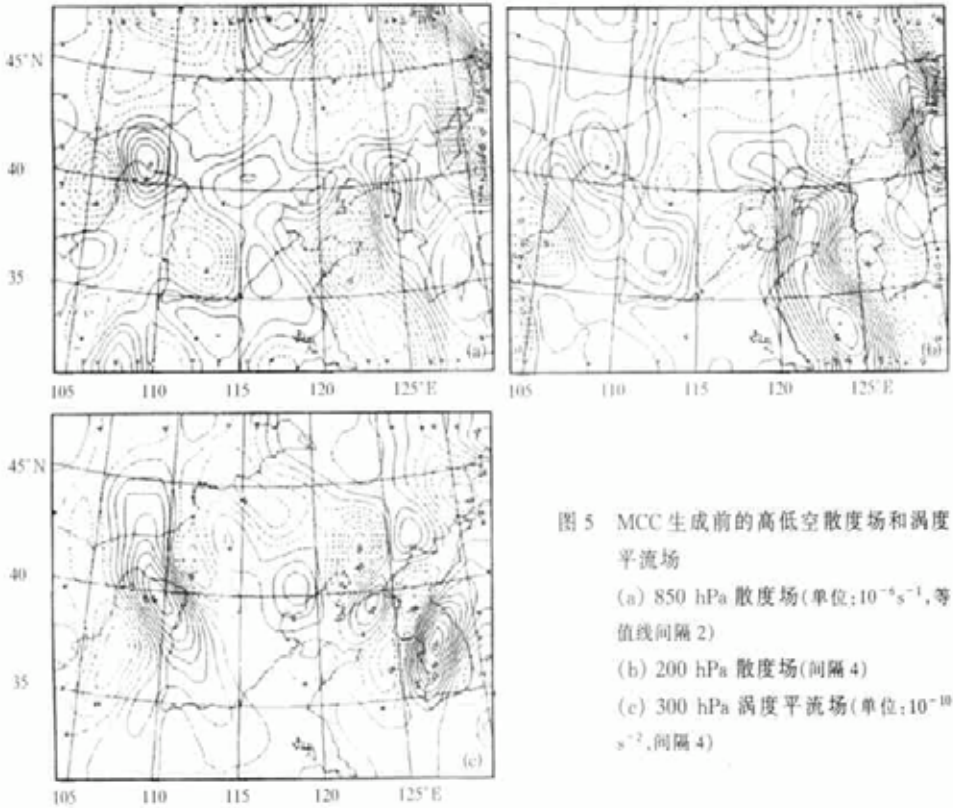


图 5 MCC 生成前的高低空散度场和涡度平流场

(a) 850 hPa 散度场(单位: $10^{-3} s^{-1}$,等值线间隔 2)

(b) 200 hPa 散度场(间隔 4)

(c) 300 hPa 涡度平流场(单位: $10^{-10} s^{-2}$,间隔 4)

4 结 语

本文通过对华北平原 MCC 发生前环境的合成和诊断,初步揭示了我国北方产生 MCC 的环流背景及与之相联系的物理条件。它们与我国南方及北美的 MCC 有相同的地方,如多发生在具有对流性不稳定的高温和高湿的大气中,并具有充足的水汽输送等。但也有不同的地方,如华北平原的 MCC 发生在移动性冷锋前的暖区中,而不是像南方的 MCC 常发生在静止锋的西端。华北平原的纬度虽然和北美 MCC 的集中发生区的纬度相当,都在北纬 $40^{\circ} N$ 附近,但它们并不发生在对流层上部大尺度的长波脊中。

此外,由于本文所用的方法是将 MCC 发生日当天上午 00:00 的资料进行合成,代表 MCC 发生前约 10 h 左右的环流,因此它所揭示的一些有利于 MCC 发生的物理条件,如水汽条件、高低空辐合辐散条件及涡度平流等,对预报傍晚前后有无 MCC 发生具有一定的参考价值。

参考文献

- 1 Maddox R A. Mesoscale convective complexes. *Bull. Amer. Meteor. Sci.*, 1980, **61**: 1374 ~ 1387.
- 2 Fang Zongyi. The preliminary study of medium-scale cloud clusters over the Changjiang basin in summer. *Adv. Atmos. Sci.*, 1985, **2**(3): 334 ~ 340.
- 3 李玉兰, 王倩熔, 郑新江, 等. 中国西南-华南地区中尺度对流复合体(MCC)的研究. *大气科学*, 1989, **13**(4): 417 ~ 422.
- 4 项续康, 江吉喜. 中国南方地区的中尺度对流复合体. *应用气象学报*, 1995, **6**(1): 1 ~ 17.
- 5 Zheng Yongguang, Tao Zuyu, Wang Hongqing. Environment of mesoscale convective system development in yellow Sea region. *Progress in Natural Science*, 1999, **9**: 842 ~ 848.
- 6 马禹, 王旭, 陶祖钰. 中国及其邻近地区中尺度对流系统的普查和时空分布特征. *自然科学进展*, 1997, **7**: 701 ~ 706.
- 7 石定朴, 朱文琴, 王洪庆, 等. 中尺度对流系统红外云图云顶黑体温度的分析. *气象学报*, 1996, **54**(5): 600 ~ 611.
- 8 陶祖钰, 黄伟, 顾雷. 常规资料揭示的中尺度对流复合体的环流结构. *热带气象学报*, 1996, **12**(4): 372 ~ 379.
- 9 斯公望, 杜立群. 南亚高压北缘的高空气流的发散与梅雨锋暴雨发展的关系. *杭州大学学报*, 1987, **14**(2): 233 ~ 243.
- 10 Maddox R A. Large-scale meteorological conditions associated with midlatitude mesoscale convective complexes. *Mon. Wea. Rev.*, 1983, **111**: 1475 ~ 1493.

ENVIRONMENT AND CONDITIONS OF MESOSCALE CONVETIVE COMPLEX DEVELOPMENT IN NORTH CHINA PLAIN

Lu Yanbin¹⁾ Zheng Yongguang²⁾ Li Yaping²⁾ Tao Zuyu²⁾

¹⁾ (Tianjin Air Traffic Control Station of CAAC, Tianjin 300300)

²⁾ (State Key Laboratory for Severe Storm Research, Peking University, Beijing 100871)

Abstract

The Mesoscale Convective Complex (MCC) can generate the torrential rainfall in the North China Plain. The composite synoptic environment before MCC genesis is obtained based on three typical MCCs selected from the general investigation of MCCs in the North China plain. Through diagnoses and analysis, the conditions of MCC development over North China plain are investigated. The results reveal that the synoptic environment of MCC development in North China plain is neither the same as in South China nor in North American. Since MCCs often occur at night, the results about the environment and conditions for MCC development are helpful in forecasting whether MCC will occur in the early evening of the day over the North China plain.

Key words: Mesoscale Convective Complex (MCC) Composite analysis Development conditions